

# Mitteilung

## Drehflügler-aerodynamik:

Aerodynamische Optimierung von Hubschrauberrotoren durch Nutzung von numerischen Methoden unterschiedlicher Eindringtiefe

Gunther Wilke

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Braunschweig, Lilienthalplatz 7.,  
38106 Braunschweig, [gunther.wilke@dlr.de](mailto:gunther.wilke@dlr.de)

Die aerodynamische Optimierung von Hubschrauberrotoren mit RANS-Methoden ist bedingt durch die instationären Effekte sehr aufwendig. Das Strömungsfeld wird im Schwebeflug durch die Blattspitzenwirbel und dem Abwindfeld des vorherigen Blattes geprägt, im Vorwärtsflug kommen noch transonische Effekte auf dem vorlaufenden, sowie Strömungsablösung auf dem rücklaufenden Blatt hinzu. Die Fluid-Struktur Kopplung des Problems ist verpflichtend, da starke aero-elastische Effekte auftreten. Die Analyse eines Rotorblattes benötigt daher einen immensen Rechenaufwand.

Da in der Optimierung viele Evaluierungen von unterschiedlichen Rotor-Geometrien betrachtet werden müssen, ist es nötig, eine intelligente Strategie zu finden, den gesamten Rechenaufwand zu reduzieren.

Zum einen werden mathematische Ersatzmodelle genutzt, die den funktionalen Zusammenhang der Zielfunktion auf die Eingabeparameter genau, aber auch Ressourcen effizient wieder geben. Dies zeigt Imiela in seiner Arbeit [1]. Zum anderen werden in der Optimierung auch physikalisch vereinfachte Modelle herangezogen, wie Blatt-Element-Theorie (BET) oder reibungsfreie CFD Rechnungen, welche die Realität nicht exakt, aber hinreichend genau abbilden.

Eine Idee ist es, sich beides in der Optimierung zu Nutzen zu machen. Es wird ein Ersatzmodell basierend auf vielen Stützstellen einfacher physikalischer Modelle, sowie wenige Stützstellen genauer, physikalisch korrekteren Methoden erzeugt. Hierdurch kann bei gleicher Genauigkeit der Rechenaufwand stark reduziert werden. Collins demonstriert dies für einfache mathematische Ersatzfunktionen und zwei aerodynamischen Modellen [2]. Der Ansatz der Nutzung mehrere Methoden unterschiedlicher Eindringtiefe wird auch Variable Fidelity Methods (VFM) genannt.

In dieser Arbeit wurden in einer Voruntersuchung unterschiedliche aerodynamische Modelle beleuchtet in Hinblick auf die Tendenz der aufgenommen Leistung eines Rotorblattes, sowie eine mögliche Einbindung dieser Modelle in VFMs diskutiert. Han und Görtz zeigen einen guten VFM Ansatz, das Hierarchische Kriging [3], der im Folgenden genutzt wird.

Eine Sensitivitätsstudie für 41 unterschiedliche Geometrien wurde durchgeführt, um das Verhalten von Pfeilung, V-Stellung und Zuspitzung der Blattspitze, sowie die lineare Verwindung des gesamten Rotorblattes auf die aufgenommen Leistung zu erörtern. Im Anschluss wurde mit allen vier Parameter direkt in jedem aerodynamischen Modell optimiert. Untersucht wurden hierzu zwei Flugzustände, Schwebeflug und schneller Vorwärtsflug. Bild 1. zeigt den Verlauf von der Leistungsaufnahme in

Abhängigkeit der Pfeilung für die unterschiedlichen Modelle im Schwebeflug. Bild 2 skizziert den optimierten Rotor für den Schwebeflug.

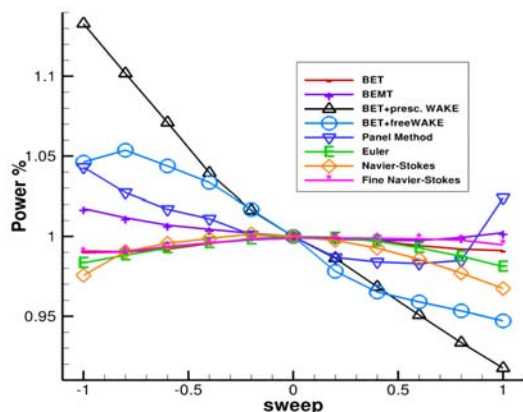


Bild 1: Einfluss der Pfeilung in verschiedenen aerodynamischen Modellen



Bild 2: Optimierter Rotor für den Schwebeflug

Für den Schwebeflug weisen die Modelle teils recht starke Abweichungen auf, deshalb eignen sich für den VFM-Ansatz nur CFD Methoden unterschiedlicher Genauigkeit. Der Vorwärtsflug zeigte eine bessere Übereinstimmung aller Methoden. Hier bietet sich der Einsatz der BET mit festen Abwindmodell und CFD Rechnungen für die Optimierung an.

Eine Optimierung mit Hierarchischem Kriging demonstrierte gute Ergebnisse in Bezug auf Reduktion des gesamten Rechenaufwands im Vergleich mit herkömmlichen Optimierungsmethoden. Bild 3 ist ein Schnitt durch die erstellte VFM-Hyperfläche aus der Optimierung für den Schwebeflug mit allen vier Parametern. Die Tendenz wird beim Hierarchischen Kriging im Vergleich zum einfachen Kriging sehr gut abgebildet. Die Differenz entsteht daher, dass keine der Stützstellen in diesen Schnitt liegen. Die Validierungspunkte (cross-check) stammen aus der Sensitivitätsstudie.

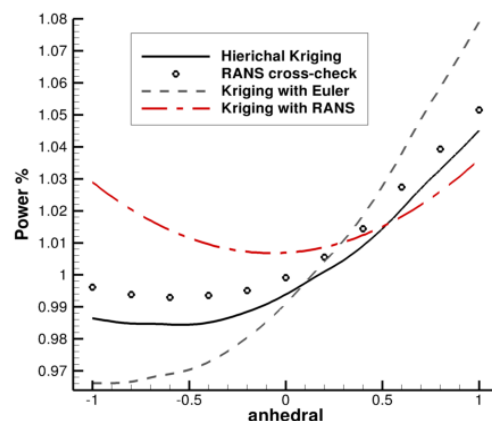


Bild 3: Schnitt durch VFM-Hyperfläche aus der Mehrparameter Optimierung im Schwebeflug

Im Rahmen weiterer Untersuchungen werden unterschiedliche Kombinationen aerodynamischen Modelle im VFM Ansatz genutzt, sowie weitere VFM Ersatzmodelle Co-Kriging und Neuronale Netze analysiert.

- [1] M. Imiela. High-fidelity optimization framework for helicopter rotors. AHS Conference Phoenix, AZ, 2010.
- [2] K. B. Collins. A Multi-Fidelity Framework for Physics Based Rotor Blade Simulation and Optimization. PhD thesis, Georgia Institute of Technology, 2008.
- [3] Zhong-Hua Han und Stefan Görtz, A Hierarchical Kriging Model for Variable-Fidelity Surrogate Modeling, im Review beim AIAA AC Journal